

지역적 변위에 따른 영향을 최소화하기 위한 Worldview-2 위성영상의 융합 기법

A Worldview-2 satellite imagery pansharpening algorithm for minimizing the effects of local displacement

최재완¹⁾

Choi, Jae Wan

Abstract

In remote sensing, spatial/spectral distortions are recognized as two of the main problems in the pansharpening algorithm. Most pansharpening methodologies show a tendency to distort spatial information from objects such as buildings and vehicles because there are local spatial dissimilarities among multispectral bands in Worldview-2 satellite imagery. In this paper, we propose a new pansharpening algorithm in order to minimize the effects of the local displacement of spatial information in the pansharpening process. In experiments using Worldview-2 images, our method provided better spectral and spatial quality than pre-existing pansharpening methods.

Keywords : Spatial/spectral distortion, pansharpening, satellite imagery, local displacement, Worldview-2

초 록

원격탐사에서 분광 및 공간정보가 왜곡되는 현상들은 영상융합 알고리즘의 가장 큰 문제점으로 알려져 있다. 특히, Worldview-2 위성영상은 멀티스펙트럴 밴드 간 공간정보의 지역적인 비유사성이 존재하기 때문에, 기존의 융합 기법에 의한 융합영상들은 건물이나 차량 등의 개체 등의 공간정보가 왜곡되는 문제를 지닌다. 본 연구에서는 Worldview-2 위성영상의 융합과정에서 발생하는 공간정보의 지역적 변위를 최소화하기 위한 융합 기법을 제안하였다. Worldview-2 위성영상에 제안된 기법을 적용한 결과, 기존의 영상 융합기법에 비하여 분광 정보 및 공간정보의 품질이 향상된 융합영상을 생성할 수 있음을 확인하였다.

핵심어 : 공간/분광왜곡, 영상융합, 위성영상, 지역적 변위, Worldview-2

1. 서 론

IKONOS-2, Geoeye-1, QuickBird-2, Worldview-2, KOMPSAT-2 등의 고해상도 위성 센서들은 멀티스펙트럴 영상과 함께, 멀티스펙트럴 영상에 비하여 높은 공간해상도를 지니는 흑백영상을 함께 제공하고 있다. 고해상도 위성영상의 효과적인 활용을 위해서는 흑백영상과 동일한 해상도를 가지는 멀티스펙트럴 영상의 취득이 요구되어 지지만, 센서의 기술적인 한계 때문에 이러한 영상을 취득하는 것은 물리적으로 불가능한 실정이다(Zhang, 2004). 이

러한 한계점을 극복하기 위하여, 고해상도 흑백영상을 이용하여 멀티스펙트럴 영상의 공간해상도를 강제적으로 증가시키는 영상 융합(pansharpening, image fusion)에 대한 연구가 매우 활발하게 진행되고 있다.

위성영상의 융합과정에 있어서, 융합영상의 분광왜곡(color distortion) 및 공간해상도의 저하 문제는 영상 융합 기법이 해결해야 할 가장 큰 문제로 알려져 있으며, 이러한 문제를 해결하기 위하여 대용량의 고해상도 위성영상을 효과적으로 융합할 수 있는 FIHS(Fast Intensity-Hue-Saturation) 융합 기법과 함께, a'trous wavelet 융합 기법,

1) 정회원 · 충북대학교 공과대학 토목공학부 전임강사(E-mail: jaewanchoi@chungbuk.ac.kr)

GS(Gram-Schmidt) 기법, 베이시안 자료 융합(Bayesian data fusion), PCI 소프트웨어의 Pansharp 기법, 푸리에 변환(Fourier transformation) 기반의 융합 알고리즘과 같은 다양한 융합 기법이 제안되었다(Tu et al., 2004; Zhou et al., 1998; Aiazzi et al., 2009; Zhang, 2004; Fasbender et al., 2008; Ling et al., 2007). 이러한 영상 융합 기법들은 크게 MRA(Multi-Resolution Analysis) 기반의 융합 기법과 CS(Component-Substituion) 기반의 융합 기법으로 크게 구분된다. MRA 융합 기법의 경우, 상대적으로 분광왜곡이 적은 융합 영상을 생성하는 것으로 알려져 있지만 블러링(blurring) 등과 같은 융합 영상 내 공간해상도가 저하될 수 있으며, 기하보정의 결과에 민감한 문제가 있다(Baronti et al., 2011). 따라서, 영상지도의 생성 및 위성영상 판독과 같은 다양한 응용분야를 위한 융합영상을 생성하기 위해서는 일부 분광 왜곡에도 불구하고 효과적으로 공간해상도를 증가시켜 주는 CS 기반의 융합 기법을 많이 사용하게 된다(Aiazzi et al., 2006).

그러나, 영상 융합 알고리즘에서 발생하는 공간해상도의 저하 현상은 고해상도 흑백영상과 멀티스펙트럴 영상의 지역적 변위에 의해서도 발생하며, 위성영상의 특성에 따라서도 다양하게 나타난다. 따라서, 본 연구에서는 위성영상의 지역적 변위에 따른 CS, MRA 기반의 융합 기법에 의한 융합 영상의 일반적인 결과를 분석하고, 이에 따른 문제점을 해결하기 위한 방안을 제안하고자 하였다. 특히, 최근에 발사된 8개의 다양한 분광파장대 밴드를 가지고 있는 Worldview-2 위성영상을 지역적 변위의 특성에 따라 그룹별로 구분한 후, 지역적 융합매개변수를 기반으로 하는 영상 융합 기법을 적용하여 영상의 공간적인 왜곡을 최소화하고자 하였다. 또한, 본 논문에서 제시한 방법을 통하여 Worldview-2 영상을 융합한 결과와 기존의 융합 기법을 이용한 융합 영상과의 정량적/시각적 평가를 통하여 본 논문에서 제안한 기법의 효용성을 검증하고자 하였다.

2. 고해상도 위성영상의 밴드 파장별 지역적 변위

2.1 영상융합 기법의 일반화 및 MRA, CS 기반의 융합 기법

MRA, CS 기반의 영상 융합 기법들은 선형식으로 일반화할 수 있으며, 이를 식으로 표현하면 식 (1)과 같다(Aiazzi et al., 2009).

$$MS_n^h = MS_n^l + \omega_n \cdot (P - I) \tag{1}$$

여기서, MS_n^h 는 융합영상, MS_n^l 는 원 멀티스펙트럴 영상, P 는 고해상도 흑백영상, I 는 멀티스펙트럴 영상과 공간해상도가 동일한 임의의 저해상도 영상, ω_n 는 융합 매개변수를 의미한다. 영상융합 기법은 식 (1)에서 영상 I 의 생성 방법에 의해 MRA, CS 기반의 영상 융합 기법으로 분류할 수 있다. MRA 기반의 융합 기법이 웨이블릿(wavelet), 영상 피라미드(image pyramid) 등을 이용하여 고해상도 흑백영상의 공간해상도를 강제적으로 저하시킨 저해상도의 흑백영상을 I 로 사용하는 반면에, CS 기반의 융합 기법은 멀티스펙트럴 영상의 평균, 경험적인 가중치, 혹은 회귀분석과 같은 통계치를 이용하여 각 멀티스펙트럴 영상들의 조합을 통하여 생성된 영상 I 를 식 (1)에 적용한다. 융합 매개변수는 영상 융합 기법에 따라서 다양한 값을 사용하며, 일반적으로 실험을 통하여 위성 센서 및 밴드 별 융합 매개 상수를 추출하여 경험적으로 적용하거나, 통계적 모델을 이용하여 추출한 값을 융합 매개 변수로 사용한다.

2.2 위성영상 내의 지역적 변위의 특성 및 영상융합에의 문제점

일반적으로 고해상도 위성영상을 융합하기 위해서는, 융합과정에 입력되는 영상들의 동일 위치에 있는 화소들은 같은 좌표를 가지고 있어야 한다. 이를 위해, 고해상도 흑백영상과 멀티스펙트럴 영상 간의 기하보정이 필요하다. 그러나, 기하보정이 이루어진 영상도 지역적인 변위에 의한 고해상도 흑백영상과 멀티스펙트럴 영상 간의 공간정보의 비유사성이 존재한다. 따라서, MRA 기반의 방법은 고해상도 흑백영상의 공간해상도를 강제적으로 저하시킨 저해상도의 흑백영상을 I 를 이용하여 융합이 이



(a) 멀티스펙트럴 밴드 (b) 저해상도 흑백영상

그림 1. 저해상도 흑백영상과 멀티스펙트럴 밴드간의 공간정보의 비상관성 예

루어지지만, 그림 1 (a), (b)에서 확인할 수 있는 것과 같이, 저해상도의 흑백영상과 각 멀티스펙트럴 영상의 각 밴드 사이의 건물과 같은 특정 개체 사이에는 공간적인 비유사성(spatial dissimilarity)이 존재하기 때문에, MRA 기반의 융합기법은 개체의 경계 부근이나 공간정보가 상이한 지역에서 블러링 등의 공간왜곡이 발생한다.

또한, 일반적인 고해상도 위성영상들은 고해상도 멀티스펙트럴 영상과 고해상도 흑백영상의 취득시간이 동일하지 않기 때문에, 차량과 같은 이동 개체에 있어서 두 영상에 동일한 좌표에 해당하는 개체들이 위치하지 않을 수 있다. 특히, 최근에 발사되어서 사용되어지고 있는 Worldview-2 위성영상의 경우에는 8밴드의 멀티스펙트럴 영상을 제공하는데, 멀티스펙트럴 밴드 간 촬영시간의 미세한 차이에 의하여 그림 2 (a), (b)와 같이 차량 등의 이동체들이 영상 내에서 동일한 위치에 존재하지 않는 현상이 발생한다.



(a) 2번 밴드 (b) 4번 밴드

그림 2. Worldview-2 위성영상의 멀티스펙트럴 밴드별 지역적 변위의 예

따라서, 고해상도 위성영상의 영상융합에 있어서 위와 같은 이동체 및 건물 등과 같은 도심지 내 세부 개체들의 지역적 변위를 고려하지 않을 경우에는 융합영상의 시각적인 판독능력 및 공간적 정보의 오차가 발생할 수 있다.

3. 지역적 변위를 최소화하기 위한 Worldview-2 위성영상의 융합방법

고해상도 흑백영상과 멀티스펙트럴 영상 간의 공간적 비유사성은 CS 기반의 융합기법을 이용하여 해결할 수 있지만, 식 (1)의 융합 매개변수에 따라서 멀티스펙트럴 영상의 지역적인 변위가 융합 영상에 드러나는 경우가 발생한다. 특히, Worldview-2 위성영상의 경우에는 그림 2와 같이, 멀티스펙트럴 영상 간에서도 지역적 변위가 존재하기 때문에 기존의 CS 기반의 융합 기법도 Worldview-2 위

성영상의 지역적 변위 문제를 해결하지 못한다. 본 연구에서는 이러한 융합기법 별 지역적 변위의 발생 양상을 분석하고, Worldview-2 위성영상을 효과적으로 융합하기 위한 방법을 제안하였다.

3.1 지역적 변위를 최소화하기 위한 영상의 분류 및 저해상도 영상의 생성

CS 기반의 융합 기법이 일반적인 4개의 분광 파장대로 이루어진 멀티스펙트럴 영상에서 공간정보의 왜곡을 최소화하는 이유는 CS 기반에 사용되는 저해상도 영상 1가 공간해상도를 강제적으로 저하시켜 얻은 저해상도 흑백 영상에 비하여 멀티스펙트럴 밴드와의 공간적 특성이 유사하기 때문이다. 본 연구에서는 이러한 특징을 8밴드의 Worldview-2 위성영상에 확장하여 적용시키고자 하였다. 이를 위해, 먼저 Worldview-2 영상의 각 밴드를 시각적으로 판독하여 동일한 공간 특성을 보이는 밴드들을 분류하였다. Worldview-2 위성영상은 표 1과 같이 총 8개의 분광 파장대를 가진 멀티스펙트럴 영상이 존재하며, 시각적 분석을 적용하여 기존 4밴드의 멀티스펙트럴 영상과 유사한 파장대인 2, 3, 5, 7번 밴드와 1, 4, 6, 8번 밴드의 2그룹으로 분류하였다.

표 1. Worldview-2 위성영상의 밴드별 분광파장대

밴드	분광파장대(nm)	지역적 변위에 따른 그룹
coastal blue	400-450	2
blue	450-510	1
green	510-580	1
yellow	585-625	2
red	630-690	1
red edge	705-745	2
NIR 1	770-895	1
NIR 2	860-1040	2

분류된 멀티스펙트럴 밴드 그룹에 대한 저해상도 영상 I들을 생성하기 위하여 식 (2)와 같은 선형 회귀분석 모델을 생성하고, 흑백영상과 멀티스펙트럴 영상간의 선형적인 관계를 나타내는 회귀분석 계수 $\alpha_{n,t}$ 를 추출하기 위하여 식 (2)를 행렬식으로 변형하고 최소제곱법을 적용하여 회귀분석 오차 ϵ 를 최소화하는 회귀분석 계수를 추출하였다. 또한, 추출된 회귀분석 계수를 식 (3)에 적용하여, Worldview-2 영상의 그룹 t번째에 해당하는 저해상도 영

상 I_t 를 추출하였다.

$$P = \alpha_{0,t} + \sum_{n=1}^N \alpha_{n,t} \times MS_{n,t}^d + \epsilon \quad (2)$$

$$I_t = \alpha_{0,t} + \sum_{n=1}^N \alpha_{n,t} \times MS_{n,t}^l \quad (3)$$

여기서, t 는 Worldview-2 위성영상 내에서 동일한 공간적 특성을 가지는 그룹의 수를 의미하며($t=1,2$), $MS_{n,t}^d$ 는 각 그룹별 멀티스펙트럴 밴드 영상, N 은 그룹 내의 밴드의 총 수, P 는 고해상도 흑백영상을 나타낸다.

3.2 지역적 변위를 최소화하기 위한 영상의 분류 및 저해상도 영상의 생성

식 (2), (3)을 통하여 추출된 그룹별 저해상도 영상 I_t 를 식 (1)에 적용하여 CS 기반의 영상 융합을 수행하였다. 영상 융합은 공간상관도 기반의 지역적 융합 매개변수를 이용하여 수행하였으며, 이에 대한 식은 식 (4)와 같다(최재완 등, 2011).

$$\omega_{n,t} = \max\left(\frac{\sigma_{(MS_{n,t}^d)}}{\sigma_{(I_t)}}, \frac{\sigma_{(I_t)}}{\sigma_{(MS_{n,t}^d)}}\right) \times \sqrt{\frac{\sigma_{MS_{n,t}^d}}{\sigma_{I_t}} \times S_{n,t} \times S_{n,t}} \quad (4)$$

여기서, $\omega_{n,t}$ 는 t 그룹의 n 번째 밴드의 지역적 융합 매개변수를 나타내며, $I_{n,t}^d$ 은 히스토그램 매칭을 이용하여 히스토그램 조정된 흑백영상 $P_{n,t}^d$ 과 $MS_{n,t}^d$ 간의 회귀분석을 이용하여 생성된 저해상도 영상, $S_{n,t}$ 는 해당 밴드 간 공간상관도를 의미한다. $\max(A, B)$ 는 A, B 간의 최대값, $\sigma(I)$ 는 영상 I 의 표준편차를 의미한다. 식 (4)는 최재완 등 (2011)이 개발한 융합 매개변수를 일부 단순화시켜서 구성하였으며, 공간상관도 및 영상의 표준편차를 이용하여 융합영상을 품질을 최적화할 수 있는 모델 식을 경험적으로 추정하였다. 식 (4)를 통하여 추출된 지역적 매개변수를 식 (1)에 그룹별로 적용함으로써, 그룹 별 멀티스펙트럴 영상과 유사한 공간적, 지역적 변위 특성을 지닌 $I_{n,t}^d$ 에 최적화된 융합 매개변수를 이용한 융합영상을 생성할 수 있다.

4. 실험 및 평가

4.1 실험 대상지역

본 연구에서 제안한 기법을 평가하기 위하여 2009년 12월 10일에 촬영된 이탈리아 로마 지역의 Worldview-2 위성영상을 이용하여 실험을 수행하였으며, 실험 대상지역은

그림 3과 같다.



그림 3. 연구대상지역

4.2 실험 방법

본 연구의 목적은 영상 융합과정에서 발생하는 지역적 변위를 최소화하기 위함이다. 그러나, 제한한 기법을 적용하는 과정에서 영상의 분광왜곡이 크게 발생할 경우에는 본 연구의 결과물을 다양한 원격탐사 분야에 활용할 수 없기 때문에, 우선적으로 제안된 기법과 기존의 융합 기법간의 분광왜곡량을 정량적으로 파악하고자 하였다. 이를 위하여 해상도를 저하시킨 위성영상에 융합기법을 적용한 후, 해당 결과물을 원 멀티스펙트럴 영상과 비교하는 방법을 사용하였으며, 정량적 평가를 위한 평가지수는 ERGAS (Erreur Relative Globale Adimensionnelle de

표 2. 융합 영상의 정량적 평가를 위한 평가 지수

	개 념	특 징
ERGAS	원 멀티스펙트럴 영상과 융합영상의 화소값의 절대값 차이를 정량화한 지수	0에 가까운 값을 가질수록, 융합 영상의 분광왜곡이 낮음
SAM	원 멀티스펙트럴 영상과 융합영상의 화소값들을 벡터로 표현한 후, 이들의 거리차이를 정량화한 지수	0에 가까운 값을 가질수록, 융합 영상의 분광왜곡이 낮음
UIQI	원 멀티스펙트럴 영상과 융합영상의 화소값의 지역적 평균 및 편차를 이용하여 영상의 상관도, 편향, 화소 차이를 정량화한 지수	1에 가까운 값을 가질수록, 융합 영상의 분광왜곡이 낮음

Synthese), SAM(Spectral Angle Mapper), UIQI(Universal Image Quality Index) 지수를 사용하였으며, 각 지수들의 개념 및 특징들은 표 2와 같다(Alparone et al., 2007). 또한, 지역적 변위의 양상을 분석하기 위해서는 원 고해상도 위성영상을 융합한 결과물들을 이용하여 시각적인 비교 평가를 수행하였으며, 평가를 위한 비교대상 기법은 대표적인 MRA 기반의 기법인 AWLP(Proportional Additive Wavelet Luminance-Hue-Saturation) 융합 기법과 CS 기반의 융합 기법인 GSA(Adaptive Gram-Schmidt) 기법을 선정하였다.

4.3 실험 평가 결과

4.2의 실험방법을 이용하여 융합영상의 정량적인 비교 평가를 수행하였다. ERGAS와 SAM 지수는 작은 값, UIQI는 값이 1에 근접할수록 적은 분광왜곡을 가지는 융합영상임을 의미한다. 표 3에서 확인할 수 있는 것과 같이, 제안된 기법을 이용하여 Worldview-2 위성영상을 융합한 결과가 가장 작은 분광왜곡을 가짐을 알 수 있었다. 따라서, 본 연구에서 제안한 Worldview-2 위성영상을 지역적 변위에 따라서 그룹별로 분류한 후에, 융합을 수행하여도 분광왜곡은 크게 증가하지 않는 것을 확인할 수 있었다.

표 3. Worldview-2 융합영상의 정량적 평가 결과

	AWLP	GSA	제안기법
ERGAS	4.449	4.427	3.209
SAM	6.323	5.252	4.547
UIQI	0.920	0.900	0.934

또한, 지역적 변위의 최소화 여부를 살펴보기 위해서 원 공간해상도를 가지고 있는 위성영상에 대하여 영상융합을 수행한 후에 이들의 결과를 시각적으로 비교평가하였다(그림 4, 5). 그림 4, 5에서 확인할 수 있는 것처럼, MRA 및 CS 기반의 융합기법인 AWLP, GSA 융합 기법들은 차량 등의 개체에 대하여 블러링과 같은 공간정보의 왜곡이 발생하였다(그림 4, 5(b), (c)). 그러나, 제안된 기법에 의한 융합결과는 AWLP 및 GSA 융합 기법에 비하여 지역적 변위에 의한 공간왜곡현상이 크게 줄어든 것을 볼 수 있다. 따라서, 본 논문에서 제안한 Worldview-2 위성영상의 융합기법이 기존의 MRA, CS 기반의 융합 기법에 비하여 상대적으로 공간정보의 지역적 변위에 의한 영상의 품질저하를 최소화시키는 방법임을 입증할 수 있었다.

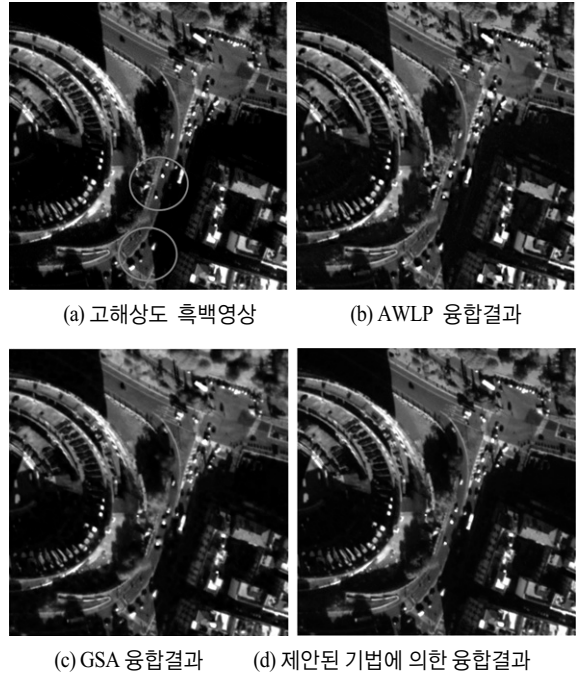


그림 4. Worldview-2 위성영상의 융합 결과 (R:7번밴드, G:3번밴드, B:2번밴드로 설정)

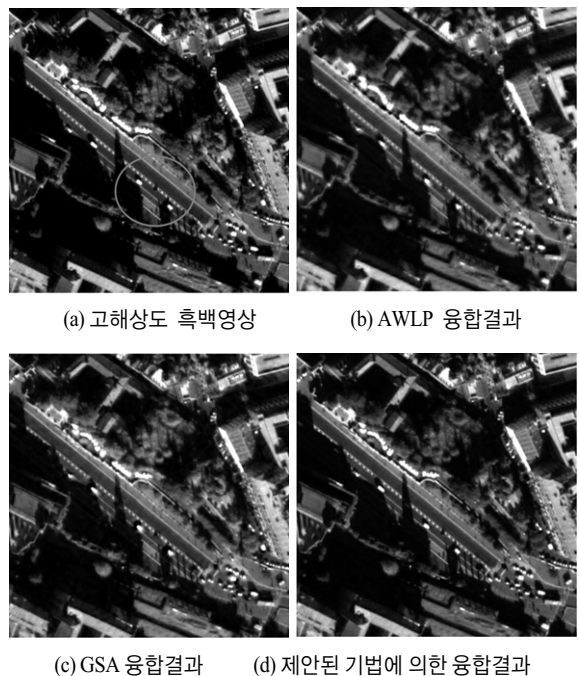


그림 5. Worldview-2 위성영상의 융합 결과 (R:6번밴드, G:4번밴드, B:1번밴드로 설정)

5. 결론

본 연구에서는 기존의 융합 기법들을 이용하여 Worldview-2 위성영상을 융합할 경우에 발생할 수 있는 지역적 변위에 의한 공간정보의 왜곡을 최소화하기 위한 융합방법론을 제시하였다. 유사한 공간 특성을 가지는 멀티스펙트럴 밴드를 분류한 후, 이들에 대하여 개별적인 영상융합 과정을 진행함으로써, 융합과정의 저해상도 영상 생성과정에서 발생할 수 있는 지역적 공간정보 변위의 양을 조절하고자 하였다. Worldview-2 위성영상을 이용하여 실험을 수행한 결과, 본 연구에서 제안한 방법에 의한 융합 영상이 기존의 AWLP, GSA 융합 기법에 비하여 낮은 분광왜곡을 보임을 정량적으로 확인하였으며, 시각적인 측면에 있어서도 기존의 융합 기법들에 비하여 공간정보의 지역적인 변위에 의한 왜곡을 최소화시킬 수 있는 알고리즘이라는 것을 확인할 수 있었다.

참고문헌

- 최재완, 김대성, 김용일 (2011), 공간상관도 기법에 따른 하이브리드 융합영상의 공간/분광 왜곡 평가, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제 29권, 제 2호, pp.175-181.
- Aiazzi, B., Alparone, L., Baronti, S., Garzelli, A., and Selva, M. (2006), MTF-tailored multiscale fusion of high-resolution MS and Pan imagery, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 72, No. 5, pp. 591-596.
- Aiazzi, B., Baronti, S., Lotti, F., and Selva, M. (2009), A comparison between global and context-adaptive pansharpening of multispectral images, *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, Vol. 6, No. 2, pp. 302-306.
- Alparone, L., Wald, L., Chanussot, J., Thomas, C., Gamba, O., and Mann Bruce, L. (2007), Comparison of pansharpening algorithms: outcome of the 2006 GRS-S Data-Fusion contest, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 45, No. 10, pp. 3012-3021.
- Baronti, S., Aiazzi, B., Selva, M., Garzelli, and Alparone, L. (2011), A theoretical analysis of the effects of aliasing and misregistration on pansharpened imagery, *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, Vol. 5, No. 3, pp. 446-453.
- Fasbender, D., Radoux, J., and Bogaert, P. (2008), Bayesian data fusion for adaptable image pansharpening, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 46, No. 6, pp. 1847-1857.
- Ling, Y., Ehlers, M., Usery, E. L., and Madden, M. (2007), FFT-enhanced IHS transform method for fusing high-resolution satellite images, *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, Vol. 61, pp. 381-392.
- Tu, T. M., Huang, P. S., Hung, C. L., and Chang, C. P. (2004), A fast Intensity-Hue-Saturation fusion technique with spectral adjustment for IKONOS imagery, *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, Vol. 1, No. 4, pp. 309-312.
- Zhang, Y. (2004), Understanding image fusion, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 70, No. 6, pp. 653-660.
- Zhou, J., Civco, D. L., and Silander, J. A. (1998), A wavelet transform method to merge Landsat TM and SPOT panchromatic data, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 19, No. 4, pp. 743-757.

(접수일 2011. 10. 10, 심사일 2011. 11. 09, 심사완료일 2011. 11. 09)